

# EV エネルギーマップを実現する EV 内部データの異目的活用

大橋 弘典<sup>†</sup> 七里 祐輔<sup>†</sup> 曾我紗代子<sup>††</sup> 野村 彰吾<sup>††</sup> 久留島 楓<sup>††</sup>  
富井 尚志<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報環境専攻 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>††</sup> 横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

<sup>†††</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: <sup>†</sup>{ohashi-hironori-pc,shichiri-yusuke-st}@ynu.jp,

<sup>††</sup>{soga-sayoko-cz,nomura-shougo-ry,kurushima-kaede-ny}@ynu.jp, <sup>†††</sup>tommy@ynu.ac.jp

**あらまし** 本研究では、電気自動車 (EV) の内部データを活用して、EV 固有のエネルギー消費地図を作成する方法を示す。EV のエネルギー消費は消費電力 [W] として表現され、EV 内部のバス (CAN: Controller Area Network) 上にはそのデータが流れている。本研究では、この CAN データをはじめとする諸データを「ライフログ」として蓄積し、活用する。定速走行中の EV は道路種別 (速度帯) や道路地形 (勾配) に依存したエネルギー消費傾向を示すことから、そのデータは「道路固有の最小限のエネルギー消費」として有用性が高い。しかし、エネルギー消費要因を把握することが困難であった。そこで本研究では次の二つのことを提案した。一つ目に、車間距離制御装置 (ACC: Adaptive Cruise Control) を用いて走行した際の CAN データを収集し、我々の先行研究である「ECOLOG システム」によって消費要因を説明した。ただし、ACC 設定下でのデータしか得られないため、道路の網羅率が低いことが課題となった。二つ目に、エネルギー消費量の観点から「定速走行とみなせる」走行データの選択方法を提案した。この方法により「定速走行に準ずるエネルギー消費地図」が作成され、網羅率は一つ目の方法よりも大幅に向上した。

**キーワード** ライフログ, CAN データ, 電気自動車, 地理データ, エネルギー消費量

## 1 はじめに

近年、センサ技術やストレージ技術の発達により、実世界の膨大且つ多様なデータを取得・蓄積することが可能になった [1]。中でもスマートフォンなどのスマートデバイスや IoT (Internet of Things) の普及により、ヒトの生活に関する記録である「ライフログ」が容易に利用できるようになった。しかし集められるデータは膨大であるため、その多くは蓄積されず破棄されている。すなわち、ライフログの有効活用が課題となっている。

一方、気候変動問題が世界的な課題として存在している。2016 年に発行されたパリ協定には、産業革命前からの地球の平均気温上昇を 2 度未満に抑えることが盛り込まれた。そのため、脱炭素化および省エネルギー化が求められている。日本では、2050 年までに 80% の温室効果ガスの排出削減を目指すという目標が掲げられている。目標達成への取り組みの一つとして、現在の日本におけるエネルギー消費量の 2 割以上を占める運輸部門のエネルギーを、すべてゼロエミッションにすることが必要とされている [2]。

省エネルギー化や CO<sub>2</sub> 排出量削減を実現する次世代自動車の候補として、電気自動車 (Electric Vehicle: EV) が挙げられる [2]。EV は走行時に CO<sub>2</sub> を排出せず、ライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 排出量も「同クラスのガソリン車 (Internal

Combustion Vehicle: ICV)」と比べて 6 割程度であるという特徴がある [3]。さらに、EV は十分大きなバッテリーを搭載していることから、非走行時にバッテリーの充電電を行うことで電力系統と電力の融通を行うこと (Vehicle-Grid Integration: VGI) が期待されている [4]。

本研究では、EV のエネルギー消費に関するデータを含む CAN (Controller Area Network) データを車のライフログであると考え、本来の目的とは異なる目的で利用することに着目した。CAN データに現れるエネルギー消費データに対し、我々の先行研究である EV の消費電力要因推定を組み合わせることで、走行時に必ず発生する道路固有のエネルギー消費を求める。本稿では、まずは定速走行時でも必ず発生する EV のエネルギー消費地図を作成することを目指す。

一般的に EV の特徴として、減速時に回生ブレーキを用いてエネルギーを回収することや、道路の縦断勾配 (勾配) に応じて消費電力が変化することが知られている。このような特徴を持つ EV において、最終的に回収できず損失するエネルギーを小さくするような走行は重要である。EV の運転者は、消費電力の瞬時値が表示されたメーターを見て走行時の消費電力を知ることができる。しかし、いつ、どこで、何を原因としてエネルギーの損失が発生するのか、という情報を知ることは困難である。この問題に対して、我々の先行研究では運動方程式に基づく走行時の消費電力を推定する ECOLOG システムを提案し

た [5]. このシステムにより, 自動車の移動軌跡のライフログを基として, 仮に EV で走行した場合の消費電力の要因推定を行った. この結果から EV のエネルギー消費は, 走行時の加減速や車速, 勾配の影響を大きく受けることが判明した.

以上の EV 固有の特徴と我々の先行研究により判明した要因を考慮して本研究では, EV のエネルギー消費が加減速や車速など運転ごとに変化するものと, 勾配のように道路に依存しており運転方法によらず必ず消費されるものに分類する. そして, 特に後者に注目する. すなわち, 定速走行中の EV は道路種別 (速度帯) や道路地形 (勾配) に依存したエネルギー消費傾向を示すことから, そのデータは「道路固有の最小限のエネルギー消費」として有用性が高い. このデータは元々 CAN データに含まれるため, EV のライフログデータから抽出することが可能である. このデータを地図上に示したものを本稿では「EV のエネルギー消費地図」と呼ぶ. しかし, このマップを作成するにあたり, エネルギー消費要因を把握することが困難であった.

そこで本研究では次の二つのことを提案する. 一つ目に, 車間距離制御装置 (ACC: Adaptive Cruise Control) を用いて走行した際の CAN データを収集し, 我々の先行研究である「ECOLOG システム」によって消費要因を説明する. ただし, この方法では ACC 設定下での走行でしかデータが得られないため, 道路の網羅率が低いことが課題となる. そこで二つ目の方法として, エネルギー消費量の観点から「定速走行とみなせる」走行データの選択方法を提案する. この方法により, 「定速走行に準ずるエネルギー消費地図」を作成し, 地図上の道路の網羅率が一つ目の ACC による方法よりも大幅に向上することを目指す.

## 2 研究背景

### 2.1 関連研究

近年, 自動車より収集した走行ログを活用する研究が盛んにおこなわれている. 特に, ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) のための自動車の内蔵センサの活用 [6] や, 交通データの可視化 [7] は注目されており, 多くの研究がみられる. しかし, 高精度な自動車の内蔵センサにより取得したデータは膨大であるために, その多くは事故回避や自動運転を目的とした自動車制御のためだけに使われている. それに対し, 我々は今後の EV 社会を見据え, 制御のための高精度センサのログを蓄積し活用する方法を提案していく必要があると考える.

他の自動車より収集した走行ログを活用する研究として, 飯島らは, プロブカーで収集した道路状況を元に, 渋滞状況を地図の色分けで可視化するシステムを構築した [8]. この研究ではプロブカーのデータを利用しており, ただ走行するだけで簡易に集められる EV のライフログを自己のために有効活用する我々とは立場が異なる. 芳澤らは, 実走行履歴データを元に, 移動経路を特定し EV の電力消費を推定するモデルの提案を行った [9]. 我々は, ICV と比較して構造が単純で現在普及が進んでいる EV を用いて, EV のライフログから簡易に EV の走行時の道路固有のエネルギー消費を明らかにすることを目指す

している.

### 2.2 CAN データ

CAN は複数の電子制御装置 (ECU: Electric Control Unit) 間で通信を行う車載ネットワーク用に開発されたシリアルバス通信規格である. ドイツの Robert Bosch 社によって開発され, 現在では国際規格として, ほぼすべての自動車に採用されている. CAN データはメーカーや車種によって異なるが, ICV なら燃料噴射量, EV ならバッテリーパックのセル電圧やバッテリー残量, モータのトルクといったデータが存在する. 現在では CAN データを個人で容易に取得することができる.

CAN データを利用した他の研究として, 田中らは, スマートフォンから取得した位置情報と ICV の CAN データを利用して 3 次元道路情報の生成を行った [10]. この研究では実験のための走行時の CAN データを利用しており, CAN データを日常的な走行におけるライフログと見なして利用を試みる我々とは立場が異なる.

### 2.3 ECOLOG システム

我々の先行研究では, EV のエネルギー消費に関する検索可能なデータベースを EV のライフログから作成する ECOLOG システムを提案してきた [5]. 本システムは以下の機能で構成される.

- (1) 自動車に後付けで搭載するセンサによって, 自動車走行 (GPS) ログを収集する.
- (2) 走行ログに対して, 我々が構築した EV エネルギー消費モデル (以下「EV モデル」) を適用して, 1 秒ごとの消費電力 [W] を推定する.
- (3) 推定した瞬間の消費電力をデータベースに蓄積する.
- (4) 地点別・時点別・走行状況別の消費電力を検索・集約する.

ECOLOG システムでは, EV の消費電力が運動方程式を用いて説明可能 [11] である点に着目し, EV のエネルギー消費要因ごとに推定を行う EV モデルを定義した [5]. この EV モデルでは, 移動軌跡のライフログを取得するサンプリングレートに合わせて, EV の瞬間の消費電力を消費要因ごとに推定する. これにより, ECOLOG データは時間に正規化されたエネルギー消費要因データとして, データベースに格納される.

要因別の消費電力推定の計算式をそれぞれ式 (1) ~ (8) に示す. 式中の各パラメタについては, 表 1 に示す. 式 (1) ~ (4) は, 車両が運動をする際に必要なエネルギーの瞬時値 (仕事率 [W]) を表しており, それぞれ加速抵抗, 登坂抵抗, 転がり抵抗, 空気抵抗によるエネルギー消費を意味する. これらの和を  $P_d(t)$  とする. この値が正の時は力行, 負の時は回生ブレーキもしくは摩擦ブレーキにより減速していると見ることができる.

$$P_{ACC}(t) = \frac{1}{2}(M + M_i) \frac{dv(t)}{dt} \times v(t) \quad (1)$$

$$P_{SLOPE}(t) = Mg \sin \theta \times v(t) \quad (2)$$

$$P_{ROLL}(t) = \mu Mg \cos \theta \times v(t) \quad (3)$$

表 1 EV モデルのパラメタ

パラメタ	単位	意味	取得方法	値
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度	定数	9.80665
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度	定数	1.22
$\mu$		転がり抵抗係数	定数	0.015
$C_d$		空気抵抗係数	定数	0.28
$A$	m <sup>2</sup>	車両前方投影面積	カタログ値	2.24
$M$	kg	車両重量	カタログ値	1600
$M_i$	kg	慣性重量	定数	80
$\theta$	rad	坂路勾配	地図データ	
$v(t)$	m/s	自動車の走行速度	GPS より取得	

$$P_{\text{AIR}}(t) = \frac{1}{2} \rho C_d A v(t)^2 \times v(t) \quad (4)$$

$$P_d(t) = P_{\text{ACC}}(t) + P_{\text{SLOPE}}(t) + P_{\text{ROLL}}(t) + P_{\text{AIR}}(t) \quad (5)$$

EV に搭載されている、車両の力学的エネルギーを電気エネルギーとして回収する回生エネルギーは次のように定義した。

- 加速度が  $-0.15G$  以下の際には、 $-0.15G$  分の運動エネルギーが回生される。
- 速度が 7km/h 以下であれば回生は行われぬ。

定義に従い、回生エネルギーの瞬時値  $P_{\text{RE}}(t)$  を式 (6) に示す。このとき、 $P_0$  は加速度  $-0.15G$  におけるモータの仕事率である。また  $\eta(P_d(t), v(t))$  は、EV 内部のエネルギー変換効率を表すモータ・インバータ総合効率 [11] とする。

$$P_{\text{RE}}(t) = \begin{cases} P_d(t) \times \eta(P_d(t), v(t)) & (P_d(t)/(Mv(t)) > -0.15G \text{ かつ } v(t) > 7\text{km/h}) \\ P_0 \times \eta(P_d(t), v(t)) & (P_d(t)/(Mv(t)) \leq -0.15G \text{ かつ } v(t) > 7\text{km/h}) \\ 0 & (v(t) \leq 7\text{km/h}) \end{cases} \quad (6)$$

前述した回生ブレーキだけで十分な減速が得られない場合、摩擦ブレーキによる減速が発生する。車両が失った力学的エネルギーのうち、回生されなかったエネルギーを式 (7) として定義した。力行時と回生時それぞれについて、エネルギー変換時の損失を式 (8) に定義した。

$$P_{\text{FRIC}}(t) = P_d(t) - P_{\text{RE}}/\eta(P_d(t), v(t)) \quad (7)$$

$$P_{\text{CONV}}(t) = \begin{cases} P_d(t)/\eta(P_d(t), v(t)) & (P_d(t) > 0, \text{力行時}) \\ P_d(t) \times \eta(P_d(t), v(t)) & (P_d(t) < 0, \text{回生時}) \end{cases} \quad (8)$$

### 3 EV エネルギーマップを実現する EV 内部データの異目的活用

#### 3.1 EV のエネルギー消費特性

本節では、EV のエネルギー消費特性に基づき、本研究における「EV のエネルギー消費地図」を定義する。

まず、自動車が走行する限り、転がり抵抗や空気抵抗による損失は避けることができない。次に、加速時には大きな加速抵抗が生じ、EV のエネルギー消費は大きな値を示す。これは、一時的な運動エネルギーの獲得を意味する。EV には回生ブレーキがあるため、運動エネルギーの一部は回収可能なエネルギーであり、すべてがエネルギー損失とはならない。また、登坂時においても高度上昇に伴い EV のエネルギー消費は大きな値を示す一方で、これは一時的な位置エネルギーの獲得を意味する。したがって、下り坂では獲得した位置エネルギーを利用して走行することが可能であり、登坂抵抗の全てがエネルギー損失とはならない。ただし、モータは電気-機械エネルギー変換装置であるため、加速時、および、坂道走行時のいずれの場合においても、必ずエネルギー変換損失が生じる [12]。よって、加速や道路勾配によってエネルギー損失量は異なる。

ここで、加減速は交通状況や運転の仕方に依存するため、加減速によるエネルギー損失は運転時または運転者固有の量になる。一方、速度帯と道路勾配は道路固有のものであるため、誰にとっても共通のエネルギー損失が生じる。本研究では、この「道路固有のエネルギー損失」を地図上に示したものを「EV のエネルギー消費地図」とする。

#### 3.2 EV のエネルギー消費地図の意義

本節では EV のエネルギー消費地図を作成する意義を説明する。

まず、3.1 節で示した「道路固有のエネルギー損失」を基準として、交通状況や運転の仕方に応じて発生する加減速に伴いエネルギー損失は増加する。このときのエネルギー損失と EV のエネルギー消費地図との差分を地図上で比較することで、運転者固有の運転特徴を道路ごとに分析することが可能となる。したがって、運転者固有のエネルギー損失を説明するための基データとして、EV のエネルギー消費地図は有用であると考えられる。

次に別の観点からも、定速走行時のエネルギー消費地図の有用性を説明する。まず、EV のエネルギー損失が最小となる走行条件を考える。モータによるエネルギー変換時の損失はモータに入力される電気エネルギーがゼロであるときには生じない。したがって、最小損失となる条件はモータに入力される電気エネルギーがゼロとなる場合である。ここで、転がり抵抗と空気抵抗は避けられない。これらのことから、「転がり抵抗と空気抵抗の和が、下り勾配による下向きの力とちょうど拮抗する下り坂」を、電気エネルギーがゼロになる速度で下り続けることができれば最小損失となる。

一般的な道路では勾配は変化するため、勾配に合わせて速度を変化させることができる場合のみ、その条件は成立する。しかし、単独走でない場合には速度を交通状況に合わせる必要があるため、勾配条件にあわせて速度を変化させるのは現実的ではない<sup>1</sup>。よって、勾配に応じて速度を変化させる走行によって EV のエネルギー損失を最小化することは可能だが、他車が

1: 下り坂と上り坂が組み合わさった場所でエネルギー消費を最小にする速度変化を行うと、渋滞の原因となる。その結果、他車のエネルギー損失を誘発する。

存在する一般的な交通条件の中では難しい。他車が存在する交通の中で渋滞を起こさずに走行し続けるには、全車の車間距離が一定のままです速巡航できる状況が理想的である。すなわち、「EV のエネルギー消費地図」では理想的な状況を想定する。ここからの差分が、理想状況との差となる。

以上をまとめると、「EV のエネルギー消費地図」とは、定速巡航しつづけることができる理想的な状況において、道路の速度帯と道路勾配に応じて変化する道路固有のエネルギー損失を地図上に示したものである。理想的な状況におけるエネルギー損失を明らかにすることで、一回の充電で到達できる限界地点を知ることができる。これは、航続距離に不安のある EV において、走行可能距離を試算する指標となる。加えて、運転者固有のエネルギー損失などは「道路固有のエネルギー損失」であるこのエネルギー消費地図との差分として説明される。これらの理由により、「EV のエネルギー消費地図」を作成することは有用であると考えられる。

### 3.3 EV のエネルギー消費地図の作成方法

定速走行時においても必ず発生するエネルギーの損失として、2.3 節で示した EV モデルをもとに要因別に説明する。まず、前提として加減速がゼロである走行をマップ作成対象としているため、加速抵抗による消費（式 (1)）は計上しない。回生エネルギーについては、損失するエネルギーに該当しないため対象外とする。また、登坂による消費（式 (2)）は、一時的な位置エネルギーの獲得を意味し、回生時に回収されるため計上しない。ただし、勾配に応じて一時的にモータのエネルギー消費は変化し（式 (2)）、同時に式 (8) に基づいてエネルギー変換時の損失も変化する。したがって、道路の勾配状況に応じてエネルギー損失は変化する。このことは、速度に変化がなくても生じる道路固有のエネルギー消費が存在することを意味する。

次に、定速走行時には摩擦ブレーキによる損失が生じないことを確認する。定速走行時には、回生ブレーキのトルクを上回る減速が必要となるとき、すなわち、急勾配を下る際にしか摩擦ブレーキを必要としない。たとえば、日本国内では道路構造令第二十条に基づき、道路の区分や設計速度に応じて縦断勾配の限界が定められており、その多くが  $\pm 10\%$  以内である。その結果多くの場合、定速走行時には摩擦ブレーキを作動させる必要はない。したがって、本稿では摩擦ブレーキによるエネルギーの損失をマップ作成の対象外とする。

以上のことから、本稿では定速走行時のエネルギー損失は、転がり抵抗（式 (3)）、空気抵抗（式 (4)）、エネルギー変換（式 (8)）の 3 つの要因により発生すると定義する。この結果によって得られたエネルギー損失を地図上に示したものが「EV のエネルギー消費地図」である。

### 3.4 EV のエネルギーベースラインマップのためのデータ選択方法

近年の車間距離制御装置（Adaptive Cruise Control:ACC）技術の発達により、一部の道路では定速による走行が可能になった。したがって、ACC 走行時のライフログを基に EV の

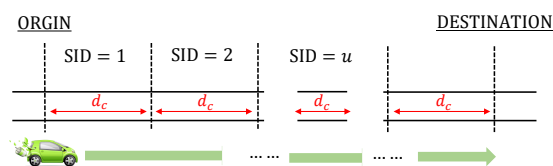


図 1 対象道路の分割区間

表 2 対象道路の分割パラメータ

パラメータ	単位	意味
$v_c$	km/h	制限速度（法定速度）
$c$	s	分割区間長決定定数
$d_c$	m	分割区間長 ( $d_c = v_c * c * 1000 / 3600$ )
$u$		分割区間識別番号

エネルギーベースラインマップを作成する方法が最も単純な方法である。しかし、その他多くの道路では、日常的に定速で走り続けることは困難である。よって、ACC による定速走行時の EV のライフログを利用してエネルギーベースラインマップを作成すると、マップの網羅率は低くなる。一方で、日常の走行においても、限定的な短い道路区間（分割区間）であれば定速で走行できるケースが存在する。このことから、定速で走行できた時のログだけを選択し、分割区間における定速ログとして利用することを考えた。分割区間を図 1 に示す。図中の各パラメータを表 2 に示す。

まず、図に示したマップ作成の対象道路への進入地点（ORIGIN）から退出地点（DESTINATION）までを分割区間長  $d_c$  で分割する。分割区間長  $d_c$  の決定定数  $c$  については任意に設定して良いものとし、本稿では  $c$  を 5 秒とした。次に、 $d_c$  ごとに分割された区間に対して識別子（SID）を設定し、SID ごとに定速のログを選択する。通勤などの日常的な利用では、同じ対象道路を走行したログが繰り返し大量に発生することから、様々な分割区間における定速ログを取得することが可能である。このように各分割区間ごとの定速ログを集めてエネルギーベースラインマップを作成することで、マップの網羅率を上げることを目指す。

以上より、定速ログを選択する二つの手法を提案する。提案手法 1 では、ACC を用いて定速走行を行ったときのログを選択する。提案手法 2 では、日常的な走行で発生するログから、定速に準ずる走行時のログを選択する。本稿では、定速で走行した場合と同程度のエネルギー消費を示す EV のライフログを準定速ログと定義する。定速で走行した場合の消費電力については、我々の先行研究で提案された未知道路消費電力推定システム [13] を用いて算出する。このシステムによって、仮に EV が定速で走行した場合の移動軌跡と、EV モデルに基づく消費電力の推定値を含む仮想定速走行ログを生成することができる。この仮想定速走行ログの消費電力を用いて、準定速ログを選択する。

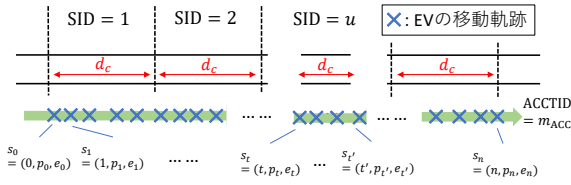


図2 提案手法1: ACCによる定速走行ログ

表3 ACCによる定速走行ログ選択時のパラメータ

パラメータ	単位	意味
$t$	s	対象道路へ進入してからの経過時間
$p_t$		時刻 $t$ における座標
$e_t$	W	時刻 $t$ における消費電力
$s_t$		時刻 $t$ における EV のライフログ
$n$	s	対象道路を退出するまでにかかる時間
$m_{ACC}$		ACCによる定速トリップ識別番号

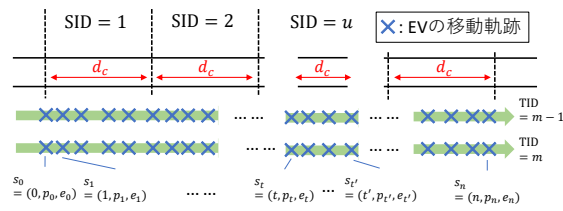


図3 提案手法2: 日常的なEVの走行ログ

### 3.5 提案手法1: 定速走行時のEVのライフログ選択

本節では、ACCを用いた定速時の走行ログ選択について述べる。走行ログを図2に示す。図中の各パラメータを表3に示す。提案手法1では、分割区間  $u$  ごとに定速走行したログを選択する。ACC機能によって一定速度に設定して走行した時のEVは、設定速度を基準として $\pm 2\%$ 程度の範囲内の速度で走行が可能であった。このことから、本稿では、ACCを用いて一定速度に設定したときの走行ログのすべてを定速ログとしてマップ作成のためのデータの対象とする。

### 3.6 提案手法2: 準定速走行時のライフログ選択

本節では、地図上の網羅性を向上させるための準定速走行時のライフログ選択について述べる。被選択対象のEVのライフログについて、図3を用いて説明する。図中の各パラメータを表4に示す。EVのライフログとして、時刻  $t$  における座標  $p_t$ 、および、CANデータに現れる消費電力データ  $e_t$  [W] を取得する。分割区間識別番号  $u$  と、トリップ番号  $m$  ごとにデータを集約し、式(9)に従い消費電力の平均値  $\bar{E}_{m,u}$  [W] を算出する。 $\bar{E}_{m,u}$  は、あるトリップ  $m$  における区間  $u$  の平均消費電力を表す。

$$\bar{E}_{m,u} = \frac{1}{t' - t + 1} \sum_t^t e_t \quad (9)$$

次に、仮想定速走行ログについて、図4を用いて説明する。図中の各パラメータを表5に示す。まず、未知道路消費電力推定システムにおける、次の手順を実行して仮想定速走行ログを生

表4 日常的なEVの走行ログに関するパラメータ

パラメータ	単位	意味
$m$		トリップ識別番号 ( $m = 0, 1, \dots$ )
$\bar{E}_{m,u}$	W	区間 $u$ におけるトリップ $m$ の消費電力平均

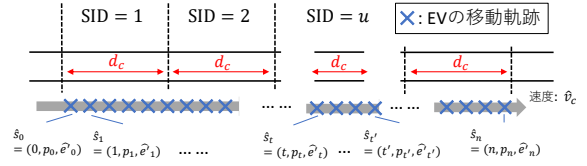


図4 提案手法2: 仮想定速走行ログ

表5 準定速走行ログ選択時のパラメータ

パラメータ	単位	意味
$\hat{v}_c$	km/h	仮定の巡航速度
$\hat{e}_t$	W	仮定の時刻 $t$ における消費電力推定値
$\hat{s}_t$		時刻 $t$ における EV の仮想定速走行ログ
$\hat{\bar{E}}_u$	W	区間 $u$ における仮定の消費電力推定値の平均
$\hat{\sigma}_u$	W	区間 $u$ における仮定の消費電力推定値の標準偏差

成する。

- (1) 入力: 走行するルートとその区間の仮定の巡航速度  $\hat{v}_c$  [km/h]、停止回数を入力する。仮想定速走行ログ生成においては、停止回数を0とする。
- (2) 走行ログ生成: 一定速度  $\hat{v}_c$  で対象道路を走行する仮想定速走行ログを生成する。
- (3) 消費電力の決定: EVモデルを適用し、仮想定速走行ログの消費電力を推定する。

これにより、図4に示す、 $\hat{s}_t$  を得る。この仮想定速走行ログに対して、図3と同等の分割区間識別番号  $u$  ごとにデータの集約を行う。式(10)と式(11)に従い、消費電力の推定値の平均  $\hat{\bar{E}}_u$  [W] と消費電力の推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_u$  [W] を算出する。

$$\hat{\bar{E}}_u = \frac{1}{t' - t + 1} \sum_t^t \hat{e}_t \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{1}{t' - t + 1} \sum_t^t (\hat{e}_t - \hat{\bar{E}}_u)^2} \quad (11)$$

このとき、式(12)に従い、 $\bar{E}_{m,u}$  [W] が仮想定速走行ログにおける消費電力の分布範囲に含まれるか判別を行う。式(12)を満たすとき、トリップ  $m$ 、分割区間  $u$  で準定速であるとみなす。

$$\hat{E}_u - \hat{\sigma}_u \leq \bar{E}_{m,u} \leq \hat{E}_u + \hat{\sigma}_u \quad (12)$$

### 3.7 エネルギー消費地図の内訳説明

選択した定速ログのCANデータに含まれる消費電力のデー

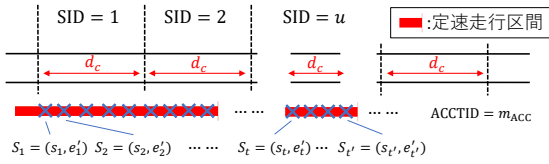


図 5 定速ログのエネルギー消費比較

表 6 定速ログのエネルギー消費比較時のパラメタ

パラメタ	単位	意味
$e_t$	W	時刻 $t$ における消費電力
$s_t$		時刻 $t$ における EV のライフログ
$e'_t$	W	時刻 $t$ における消費電力の推定値
$S_t$		エネルギー消費推定値を含む走行ログ
$\bar{E}_{ACC,u}$	J	区間 $u$ で定速の走行で消費した電力量平均
$\bar{E}'_{ACC,u}$	J	区間 $u$ で定速の走行で消費した電力量推定値平均

タを用いて、定速走行時のエネルギー消費マップを作成することができる。しかし、このデータは 2.3 節で示す様々な要因によるエネルギー消費の合計値であり、CAN データのみでは消費要因を知ることは困難である。これに対し、我々の先行研究である ECOLOG システムを用いて、エネルギー消費の内訳を要因別に説明することを試みる。CAN データから得られた消費電力と、EV モデルを用いて推定した消費電力を比較し、消費電力が同程度のときに EV モデルによる要因別の推定が十分であるとみなす。これにより、定速走行時の消費要因別のエネルギー消費を明らかにし、3.3 節で示したエネルギー損失だけを地図に示す。

まず、3.5 節における提案手法 1 に基づいて選択された定速ログを図 5 に示す。図中の各パラメタを表 6 に示す。区間  $u$  で定速のトリップだけを対象に、トリップごとに消費電力量を算出し、その平均  $\bar{E}_{ACC,u}$  を式 (13) に従い算出する。また、EV モデルを用いて推定したトリップごとの消費電力量の平均  $\bar{E}'_{ACC,u}$  を式 (14) により求める。このときの  $\bar{E}_{ACC,u}$  と  $\bar{E}'_{ACC,u}$  を比較する。2 値が同程度であるとき、EV モデルによる要因別のエネルギー消費データを利用して、区間  $u$  ごとにエネルギー損失だけを地図に示す。

$$\bar{E}_{ACC,u} = \frac{1}{m_{ACC}} \sum_{m_{ACC}=1}^{t'} \left( \sum_t e_t \right) \quad (13)$$

$$\bar{E}'_{ACC,u} = \frac{1}{m_{ACC}} \sum_{m_{ACC}=1}^{t'} \left( \sum_t e'_t \right) \quad (14)$$

次に、3.6 節における提案手法 2 に基づいて選択された定速ログを図 6 に示す。図中の各パラメタを表 7 に示す。提案手法 2 では、全トリップ数  $m$  のうち、区間  $u$  で準定速であるトリップ数  $M(u)$  (式 (15)) だけを対象として区間ごとの消費電力量を求める。式 (16) ~ (17) に従い、区間  $u$  ごとの消費電力量の平均値  $\bar{E}_u$  と、推定した消費電力量の平均値  $\bar{E}'_u$  を求める。提案手法 1 と同様に 2 値が同程度であるとき、EV モデルによ

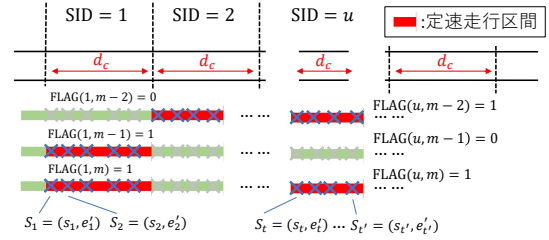


図 6 準定速ログのエネルギー消費比較

表 7 定速ログのエネルギー消費比較時のパラメタ

パラメタ	単位	意味
$S_t$		エネルギー消費推定値を含む走行ログ
$FLAG(u, m)$		区間 $u$ , トリップ $m$ における判別式 (12) の真偽値
$M(u)$		区間 $u$ において準定速のトリップ数
$\bar{E}_u$	J	区間 $u$ で準定速の走行で消費した電力量の平均
$\bar{E}'_u$	J	区間 $u$ で準定速の走行で消費した電力量の推定値平均

表 8 実験データ取得環境

日程	2018 年 7 月 1 日 ~ 2020 年 6 月 30 日
使用車両	日産 LEAF ZAA-ZEO 型 2011 年式
被験者	1 名
GPS データ取得端末	Android タブレット端末
CAN データ取得方法・取得端末	Android アプリ “Leaf Spy Pro” PLX KIWI 3 OBD2, Android タブレット端末

る要因別のエネルギー消費データを利用して、区間  $u$  ごとにエネルギー損失だけを地図に示す。

$$M(u) = \sum_{m=1} FLAG(u, m) \quad (15)$$

$$\bar{E}_u = \frac{1}{M(u)} \sum_{m=1}^{t'} \left( \sum_t e_t * FLAG(u, m) \right) \quad (16)$$

$$\bar{E}'_u = \frac{1}{M(u)} \sum_{m=1}^{t'} \left( \sum_t e'_t * FLAG(u, m) \right) \quad (17)$$

マップ作成のための可視化ツールには、Microsoft Excel 2016 の 3D Maps 機能<sup>2</sup>を用いた。

## 4 エネルギー消費地図の作成実験

### 4.1 利用データ

マップ作成のためのデータとして、EV モデルによる消費電力推定値を擁する走行ログと、EV 走行時の CAN データを用いる。データの取得のための実験機として、表 8 に示す日産 LEAF を用いた。

まず、ECOLOG システムで利用したパラメタについて説明

2: “Get started with 3D Maps”, Microsoft, <https://support.microsoft.com/en-us/office/get-started-with-3d-maps-6b56a50d-3c3e-4a9e-a527-eea62a387030>, 参照 Jan 10, 2022.

表 9 対象道路データ

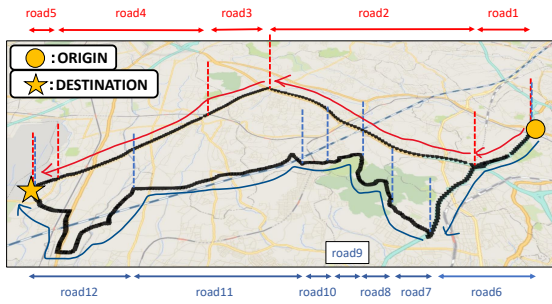


図 7 対象道路

する。実験機の諸元を表 1 に示す。本手法では道路勾配に基づくその地点固有の消費電力の変化を算出する。そのためには正確な道路勾配データが必要不可欠である。そこで、勾配については株式会社ゼンリンデータコムが提供する webAPI サービスの“いつも NAVI API 3.0”を利用して取得した。具体的には、“ルートマッチング（自動車）”API<sup>3</sup>を用いて各地点の正確な道路標高データを取得した。そして、地点間距離と地点標高差からその地点の道路勾配を算出した。変換効率  $\eta$  については、文献 [11] で示されたモータ・インバータ総合効率と呼ばれる値を用いた。以上の値を用いて 1 秒ごとの要因別の消費電力の推定値を求めた。

また、エネルギー消費の正解データとして、CAN データを用いた。CAN データの取得には Android アプリ LeafSpy Pro<sup>4</sup>を使用した。また、OBD2 (On Board Diagnosis second generation) 接続用の Bluetooth 通信端末として Kiwi3 OBD2 Wireless Bluetooth Diagnostic Scanner<sup>5</sup>を使用した。本研究では、LeafSpy Pro において、EV 内部を流れる電流、および、電圧であるとされる値を用いて、エネルギー消費を算出した。

#### 4.2 マップ作成対象道路

本稿におけるマップ作成対象の道路について、図 7 を用いて説明する。図中の各道路を表 9 に示す。対象道路として、出発地と目的地が同一であり、道路種別の異なる経路 2 つを利用する。1 つ目の経路 (Route1) に含まれる道路の特徴として、road2 は高速で走行可能な一方で渋滞が生じやすい。また、road3 は県道であるが、片側 2 車線を有する幹線道路であるため交通の流れが良い。総合して Route1 は経路全体として巡航速度が大きい。2 つ目の経路 (Route2) に含まれる道路の特徴として、road8 以降は片側 1 車線の市道が多く、巡航速度が小さい。

#### 4.3 定速走行時のエネルギー消費比較検証実験

3.7 節で示した、エネルギー消費の比較実験を行う。表 9 に

3: “いつも NAVI API 3.0 マニュアル ルートマッチング (自動車)”, ZENRIN DataCom, [https://support.e-map.ne.jp/manuals/v3/?q=road-path-drive\\_api\\_man](https://support.e-map.ne.jp/manuals/v3/?q=road-path-drive_api_man), 参照 Feb 6, 2022.

4: “LeafSpy Pro”, Google Play, [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Lead.Spy\\_Prohl=jagl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Lead.Spy_Prohl=jagl=US), 参照 Dec 24, 2021.

5: “PLX Devices model Kiwi3”, Inc. PLX Devices, <https://www.plxdevices.com/Kiwi-3-OBD-Car-to-Smartphone-Connection-p/897346002832.html>, 参照 Dec 24, 2020.

経路名称	区間名称	道路種別	距離	$v_c$	走行件数
Route1	road1	国道 (自動車専用道)	2.6 km	70	241 件
Route1	road2	国道 (自動車専用道)	6.1 km	80	233 件
Route1	road3	県道	2.3 km	60	227 件
Route1	road4	県道	4.0 km	50	232 件
Route1	road5	市道	0.6 km	40	159 件
Route2	road6	国道 (自動車専用道)	5.1 km	70	14 件
Route2	road7	市道	1.3 km	40	11 件
Route2	road8	市道	1.7 km	30	11 件
Route2	road9	市道	1.1 km	30	13 件
Route2	road10	市道	0.7 km	40	13 件
Route2	road11	市道	4.5 km	50	13 件
Route2	road12	市道 (一部国道)	5.2 km	40	11 件

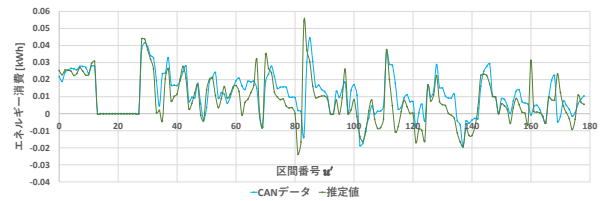


図 8 エネルギー消費比較実験結果: Route1

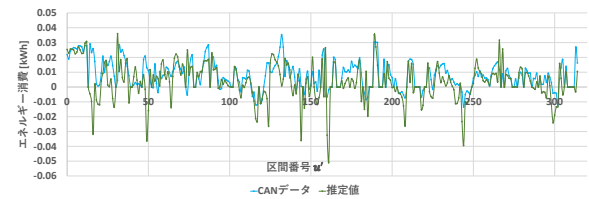


図 9 エネルギー消費比較実験結果: Route2

示す二つの経路 Route1 と Route2 における比較結果を図 8 と図 9 に示す。図の横軸は対象道路を巡航速度で走行してきた場合の移動時間、縦軸はエネルギー消費を表す。水色の折れ線グラフが CAN データに基づくエネルギー消費、緑色の折れ線グラフが ECOLOG システムによるエネルギー消費推定値を表す。いずれの経路においても、おおよそ同じエネルギー消費の概形を示した。よって、CAN データに基づくエネルギー消費と、ECOLOG システムに基づく要因別エネルギー消費推定値の総量が同等であるとみなし、このときのエネルギー消費を要因別に示す。

### 5 エネルギー消費地図作成結果と考察

#### 5.1 エネルギー消費地図

3.5 節、および、3.6 節で示した 2 つの提案手法ごとに、3.7 節で示したマップ作成方法に従って、エネルギー消費地図を作成した。結果をそれぞれ図 10 と 11 に示す。図中の棒グラフは地図上の位置に対応したエネルギー消費を表す。また、3.3 節で定義した 3 種類のエネルギー消費について、空気抵抗由来を黄色、転がり抵抗換由来を橙色、エネルギー変換由来を赤色に対応させて積み上げ棒グラフで表示する。

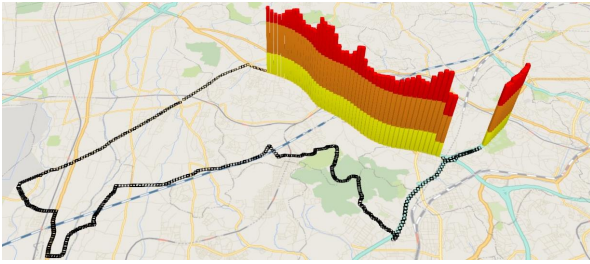


図 10 エネルギー消費地図: 提案手法 1

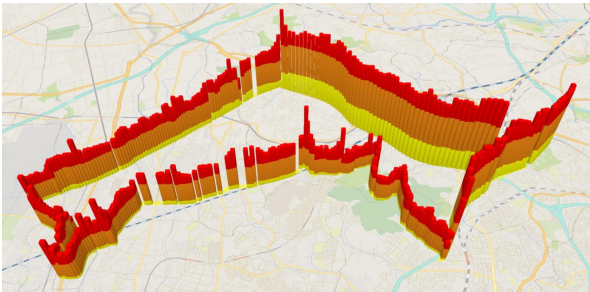


図 11 エネルギー消費地図: 提案手法 2

まず、マップが作成できた割合を表す網羅率を比較する。対象道路の総経路長に対するマップ作成のためのデータが存在する区間距離の合計を割合表示したものを網羅率とする。このとき、網羅率は経路ごとにそれぞれ、Route1 が 19%、Route2 が 82% となった。このように、ACC に基づく定速ログの選択方法では道路が制限される一方で、選択条件緩和を適用した提案手法 2 では大幅な網羅率の向上が見られた。

次に、エネルギー消費の要因別の割合を、道路種別ごとに比較する。高速道路である road1, road2, road6 では黄色の空気抵抗に由来した消費が大きく、また全道路を通して転がり抵抗に由来した消費が大きい。エネルギー変換由来の消費は場所ごとに大きく変動し、この変動が道路の勾配に対応していることを確認した。

## 5.2 経路別エネルギー消費の比較

本節では 2 つの経路におけるエネルギー損失を比較する。本稿では、同種別の道路において巡航速度が一定であること、道路勾配が連続的に変化していることから、それぞれの要因別エネルギー損失も連続的に変化すると仮定する。仮定のもと、マップの空白区間のエネルギー損失を、空白区間前後のエネルギー損失の平均値として算出した。このとき、エネルギー損失は Route1 が 2.4[kWh]、Route2 が 2.8[kWh] となり、巡航速度に近い走行が可能な場合においては Route1 がエネルギー消費の観点から優位であることが明らかになった。

## 5.3 考察

3.6 節で示した提案手法 2 に基づくマップにおいて、特に Route2 で定速ログが選択できず空白区間となる場所が多く見られた。これは、Route2 における走行件数そのものが少ないことに加え、空白区間の多くが交差点付近で加減速が頻繁に発生することから、実験データ内に定速ログが極めて少ないこと

が原因として挙げられる。一方で、Route1 にも交差点は複数存在するが、おおよそマップが網羅されていた。以上のことから、データ件数が増加するに従って一時的に定速で走行できたログが蓄積し、マップの網羅率は向上すると考えられる。

## 6 まとめ

本論文では、EV のライフログを利用して、走行時に必ず発生する道路固有のエネルギー消費地図を消費要因別に表示した。また、ACC を用いて取得した定速走行ログを対象とする提案手法 1 に対して、準定速走行ログを選択する提案手法 2 によってマップの網羅率が大幅に向上した。

## 謝辞

本研究の一部は横浜国立大学令和 3 年度学長戦略経費の支援による。道路勾配データの作成については、株式会社ゼンリンデータコムをサポートを得た。

## 文献

- [1] 総務省. 令和元年版 情報通信白書. Last accessed: 21 May 2020.
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁. 令和元年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2020). Last accessed: 17 December 2020.
- [3] 黒川文子. Ev へのシフトと CO<sub>2</sub> 排出量に関する考察. 環境共生研究, No. 11, pp. 25–36, mar 2018.
- [4] Kang Miao Tan, Vigna K Ramachandaramurthy, and Jia Ying Yong. Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 53, pp. 720–732, 2016.
- [5] 齊藤祐亮, 植村智明, 富井尚志. EV 消費エネルギーログデータベースにおける消費電力量推定の精度検証. 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol. 12, No. 4, pp. 40–52, oct 2019.
- [6] Peter Arthurs, Lee Gillam, Paul Krause, Ning Wang, Kaushik Halder, and Alexandros Mouzakitis. A taxonomy and survey of edge cloud computing for intelligent transportation systems and connected vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–16, 2021.
- [7] Wei Chen, Fangzhou Guo, and Fei-Yue Wang. A survey of traffic data visualization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 16, No. 6, pp. 2970–2984, 2015.
- [8] 飯島護久, 堀口良太. プローブデータに基づくエリア流動性情報提供に関する研究. 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 論文集, pp. 1–4, 2010.
- [9] 芳澤信哉, 坂井勝哉, 太田豊, 上田嘉紀, 香川公司, 岩田章裕. 実走行履歴データを活用した EV 電力消費推定モデルの評価. In *24.Sep.2021 Joint Technical Meeting on Vehicle Technology/Transportation and Electric Railway*, pp. 7–12, 2021.
- [10] 田中成典, 上谷弘平, 外山諒. プローブデータを用いたサグ部とヒヤリ・ハット地点の 3 次元道路情報の生成に関する研究. 第 77 回全国大会講演論文集, 第 2015 巻, pp. 407–408, mar 2015.
- [11] 廣田幸嗣, 船渡寛人, 三原輝儀, 出口欣高, 初田匡之. 電気自動車工学. 森北出版, 2017.
- [12] 穴山武. エネルギー変換工学基礎論. 丸善, 1977.
- [13] 磯部康太, 有長拓海, 植村智明, 齊藤祐亮, 富井尚志. 未知道路に対する EV の消費電力量推定システムの構築. 第 16 回 ITS シンポジウム 2018, pp. 1–6, 2018.